

У результаті розрахунків в роботі [4] також встановлено, що для ряду (15) достатньо адекватним є тренд

$$\mu_t^{(K)} = 40,139 + 3,24 \cdot \sin(0,524 \cdot (t - 1) - 1,571) \quad (16)$$

і авторегресійна модель 4-го порядку

$$\tilde{W}_t^{(K)} = -0,277\tilde{W}_{t-1}^{(K)} - 0,056\tilde{W}_{t-2}^{(K)} - 0,381\tilde{W}_{t-3}^{(K)} - 0,769\tilde{W}_{t-4}^{(K)} + a_t^{(K)} \quad (17)$$

з дисперсією білого шуму  $\sigma_a^{(K)2} = 0,75$ .

#### *Висновки*

Показано, що споживання електроенергії трамваями підпорядковується нормальному логарифмічному закону. Визначено довірчі інтервали для статистичних оцінок, що характеризують електроспоживання трамваями.

Побудовано математичні моделі процесу споживання електроенергії трамваями як для “усередненого” трамвая депо, так і для двох трамваїв, якими керують водії з найкращою і найгіршою кваліфікацією. Синтезовані моделі дозволяють врахувати стохастичність споживання електроенергії трамваями і сезонність роботи.

Поставлено задачу створення методології об’єктивної оцінки роботи водіїв трамваїв за критерієм витрат електроенергії на функціонування трамваїв на маршрутах, що буде розв’язана в подальших дослідженнях і на основі якої буде розроблена система преміювання за економію електроенергії водіями.

1. Мокін Б. І., Бурденюк С. І., Гурильова Н. В. Математичні моделі емпіричних законів розподілу несправностей функціональних систем трамваїв // Вісник ВПІ. – 2001. – №1. – С. 13-20.

2. Дудко В. Б., Мокін Б. І., Розводюк М. П. Математичні моделі емпіричних законів розподілу споживання електроенергії трамваями // Вісник ВПІ. – 2002. – №5. – С. 42-46.

3. Дудко В. Б., Мокін Б. І., Розводюк М. П. Математичні моделі прогнозу споживання електроенергії трамваями на маршрутах // Вісник ВПІ. – 2002. – №6.

*Отримано 12.02.2003*

УДК 656.345

С.М.ЕСАУЛОВ, канд. техн. наук, А.С.КАНОВЧЕНКО, В.А.КАПЛИЕНКО

*Харьковская государственная академия городского хозяйства*

### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЕРЕВОЗКИ ПАССАЖИРОВ ПРИ ПОСТРОЕНИИ МАРШРУТНОГО РАСПИСАНИЯ**

Рассматривается применение математического моделирования перевозки пассажиров несколькими видами городского транспорта и использование результатов оптимизации для корректировки маршрутного расписания с целью повышения экономиче-

ских показателей предприятия городского электротранспорта и выравнивания регулярности движения всех видов городского транспорта по маршруту.

Применение системы гибкого планирования работы городского электротранспорта способствует повышению экономических показателей транспортного предприятия.

Традиционно маршрутные расписания разрабатывают отдельно на каждый из действующих маршрутов [1]. В условиях рыночной экономики при неограниченной борьбе за деньги клиентов, включающей и недобросовестные варианты [2], маршрутное расписание должно учитывать функционирование коммерческих подвижных единиц (КПЕ), представляющих населению одноименные услуги на параллельных маршрутах. В таких условиях очевидна актуальность поиска подходов для построения экономически эффективных маршрутных расписаний городского электротранспорта на фоне транспортных коммерческих фирм.

При планировании работы городского электротранспорта преследуются достижение оптимальной выручки за предоставленные услуги, экономия энергоресурсов, рациональное использование машино-часов и другие важные для транспортного предприятия показатели и величины.

Количество перевозимых пассажиров – один из основных факторов, взаимосвязанный с прибылью транспортного предприятия. Для повышения прибыли используют математическое моделирование [3] пассажирских потоков в недетерминированных системах, к которым относится и работа всего городского транспорта без единого координационного центра. Для решения подобных задач часто разрабатывают имитационные модели, основанные на методе статистических испытаний [3]. К сожалению, результаты исследования имитаций таких моделей часто оказываются довольно сложными для их реализации [4].

Для совершенствования технологии разработки маршрутного расписания электротранспорта был взят статистический путь моделирования с использованием реальных данных. В качестве входных наблюдаемых величин модели были выбраны вариативные периоды прибытия на определенный остановочный пункт всех видов подвижных единиц (ПЕ) городского транспорта, выполняющих параллельные перевозки пассажиров по маршруту. При этом наблюдались временные интервалы, когда:

- 1) все ПЕ прибывают на остановочный пункт одновременно;
- 2) КПЕ прибывают на остановочный пункт раньше – позже ПЕ электротранспорта;

- 3) ПЕ электротранспорта прибывают на остановочный пункт раньше – позже КПЕ.

Выходной величиной принято количество пассажиров, вошедших в каждый из видов городского транспорта, выбранных для наблюдения:

$Y_1$  – в ПЕ городского электротранспорта;

$Y_2, Y_3$  – в автобусы и маршрутные такси, соответственно.

При эксперименте использовали глазомерные наблюдения в «межпиковые» часы, наиболее сложные в плане выручки. Каждый результат эксперимента получен как среднеарифметическое наблюдение в течение нескольких часов.

Эксперимент осуществляли по некомпозиционному плану Плакетта – Бермана [3, 4]. План строили с использованием дробной реплики. Число факторов и число опытов определяли по зависимости

$$N = k + 1, \quad (1)$$

где  $N$  – число опытов;  $k$  – число факторов.

Матрица включала все факторы, которые встречались на выбранных уровнях одно и то же число раз. Достоинство таких планов состоит в возможности раздельного оценивания линейных эффектов всех величин с максимально возможной при данном числе опытов точностью, одинаковой для всех переменных.

Выполненные расчеты позволили для конкретного наблюдаемого объекта получить следующие уравнения:

$$Y_1 = 9,5 + 3,9X_1 + 4,2X_2 + 1,8X_3 - 0,8X_4 - 1,6X_5 - 3,5X_6 - 1,2X_7; \quad (2)$$

$$Y_2 = 8,25 - 0,9X_1 - 1,1X_2 - 1,8X_3 + 3,4X_4 + 2,6X_5 + 1,9X_6 - 0,35X_7; \quad (3)$$

$$Y_3 = 1,38 - 0,3X_1 - 0,2X_2 - 0,1X_3 - 0,4X_4 - 0,5X_5 - 0,4X_6 - 1,12X_7, \quad (4)$$

где  $X_i$  – кодированные факторы.

Эти уравнения являются наиболее экономичными с точки зрения минимизации количества проведенных наблюдений по сравнению с другими методами статистического анализа.

Для оптимизации условий работы городского транспорта очевидно, что преимуществами может обладать только тот метод, который обеспечит комплексный подход к решению такой задачи. Понятно, что выбранный метод должен учитывать влияние всех функций отклика  $Y_i$  ( $i=1 \dots 3$ ).

Одним из наиболее удачных способов решения задачи оптимизации стохастических процессов с большим числом переменных являет-

ся применение обобщенной функции желательности  $V$  [4]. Математическим выражением этой величины может служить среднее геометрическое частных функций желательности, т.е.

$$V = (V_1 V_2 V_3)^{1/3}, \quad (5)$$

где

$$V_i = Y_{ji} / \sum_{i=1}^m Y_{ji}, \quad m = 1, \dots, 8. \quad (6)$$

Расчетные обобщенные функции желательности изменялись в зоне варьирования, охватывающей значения  $4,64 < V_{1,2,3} < 19,34$ . Наибольшим конкурентом городского электротранспорта по численности перевозимых пассажиров является автобус. Приняв за оптимальный вариант композицию с  $V_{opt}=19,341$ , оказалось возможным определить условия (прибытие на наблюдаемый остановочный пункт ПЕ электротранспорта с опережением автобусов на 1-2 мин.), способствующие достижению наилучшего результата. Так, при реальной средней численности пассажиров, посадка которых в ПЕ электротранспорта составляла 9 человек, в оптимальных условиях она может достичь 18-19 человек.

На основании полученных с помощью математического моделирования результатов можно заключить, что оптимизация параметров такой модели имеет прикладной характер, так как может быть сразу реализована на практике. При разработке маршрутного расписания целесообразно предусмотреть корректировку выпусков ПЕ в «межпиковые» периоды, составляющую 1-2 мин. Это обеспечит не только рост экономических показателей предприятия за счет увеличения выручки, но и будет способствовать выравниванию регулярности движения всех видов городского транспорта по маршруту.

1. Варелопуло Г.А. Организация движения и перевозок на городском пассажирском транспорте. – М.: Транспорт, 1990. – 208 с.
2. Портер М. Международная конкуренция. – М.: «Интел-Синтез», 1993. – 116 с.
3. Виханский О.С. Стратегическое управление. – М.: Изд-во МГУ, 1995. – 360 с.
4. Акофф Р.Л. Планирование в больших экономических системах. – М.: Сов. радио, 1972. – 223 с.

Получено 12.02.2003